



علوم و تحقیقات بذر ایران

سال یازدهم / شماره دوم / ۱۴۰۳ (۴۶ - ۲۹)

مقاله پژوهشی

DOI: 10.22124/JMS.2024.8668



بررسی واکنش جوانه‌زنی دو گونه مریم گلی به تنش آبی با استفاده از مدل هیدروتایم

زهرا رضائی^۱، زینب روئین^۲، عاطفه صبوری^{۳*}، سمیه حاجی‌نیا^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۸

چکیده

مریم گلی یکی از گیاهان دارویی مهم است و شناسایی شرایط بهینه برای رشد مناسب آن تحت تنش‌های محیطی، می‌تواند نقش مهمی در کاهش هزینه تولید و بهره‌وری آن داشته باشد. این پژوهش، به‌منظور ارزیابی اثرات تنش آبی بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی و کمی‌سازی اثر این تنش بر پاسخ‌های جوانه‌زنی مریم گلی در دانشگاه ایلام طی سال ۱۴۰۱ اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل تنش آبی ناشی از پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ در شش سطح (صفر، -۰/۱، -۰/۳، -۰/۵، -۰/۷ و -۰/۹ - مگاپاسکال) و دو گونه مریم گلی (شامل مریم گلی لوله‌ای و مریم گلی) بودند. بر اساس نتایج، میانگین درصد جوانه‌زنی در سطوح مختلف، در گونه مریم گلی (۳۸/۲ درصد) بیشتر از مریم گلی لوله‌ای (۲۰/۸ درصد) بود. با افزایش سطح تنش آبی به -۰/۳ - مگاپاسکال درصد جوانه‌زنی بذر هر دو گونه مریم گلی بیشتر از ۵۰ درصد کاهش یافت. بر اساس تجزیه هیدروتایم در مجموع از پنج توزیع آماری مطالعه شده، سه توزیع آماری نرمال، توزیع لجستیک، گامبل همگرا شدند و بر اساس شاخص‌های آکائیک تصحیح شده (AICc)، ضریب تبیین تصحیح شده (R^2_{adj}) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) مشخص شد، توزیع لجستیک مناسب‌ترین مدل در توجیه جوانه‌زنی هر دو گونه مریم گلی می‌باشد. برآورد پارامترهای مدل هیدروتایم نشان داد گونه مریم گلی لوله‌ای در مقایسه با مریم گلی مقدار ثابت هیدروتایم (θ_H) کمتری دارد که بیانگر سرعت جوانه‌زنی بیشتر در مریم گلی لوله‌ای است. مقدار پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی ($\Psi_{b(50)}$) در گونه مریم گلی (-۰/۶۱۱) کمتر از مقدار آن در مریم گلی لوله‌ای (-۰/۳۵۹) به‌دست آمد که نشان‌دهنده تحمل بیشتر مریم گلی در برابر تنش آبی در مرحله جوانه‌زنی نسبت به مریم گلی لوله‌ای است.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب، گیاه دارویی، مدل‌های جوانه‌زنی

rezaei.zahra65@yahoo.com

z.roein@ilam.ac.ir

a.sabouri@guilan.ac.ir

hajinia.2010@gmail.com

۱- دانش آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۲- دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۴- مدرس مدعو گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

*نویسنده مسئول: a.sabouri@guilan.ac.ir

مقدمه

گیاهان دارویی همراه با ترکیبات طبیعی و مواد مؤثره موجود در آن‌ها از دیرباز در طب سنتی و طب نوین صنعتی نقش ویژه و ارزشمندی دارند. کشور ایران دارای مجموعه متنوعی از ۷۵۰۰ تا ۸۰۰۰ گونه گیاهی است که بیش از ۲۰۰ گونه از آن‌ها دارای ارزش دارویی و اقتصادی است. نیاز روزافزون صنعت داروسازی به گیاهان دارویی به‌عنوان ماده اولیه تولید دارو نشان از اهمیت و جایگاه بالای این گیاهان دارد (Mirzapour et al., 2022)؛ بنابراین با توجه به پتانسیل تولید گیاهان دارویی در کشور و لزوم تأمین سلامت جامعه، تولید گیاهان دارویی از اهمیت زیادی برخوردار بوده و توسعه کاشت آن‌ها، ضروری و لازم به‌نظر می‌رسد. جنس مریم گلی (*Salvia spp*) از خانواده نعنائیان، نشان‌دهنده یک مجموعه عظیم از ۱۰۰۰ گونه در سراسر جهان است (Yaman et al., 2022; Karami et al., 2015). این جنس، به‌دلیل داشتن ترکیبات زیستی فعال و متابولیت‌های ثانویه یک گیاه دارویی مهم محسوب می‌شود (Poulios et al., 2020). امروزه مریم گلی به‌عنوان آنتی باکتریال، ضد قارچ، ضد ویروس، ضد تعرق، پایین آورنده فشار خون، ضد التهاب، افزایش‌دهنده اشتها و مدر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Karami et al., 2015). شناسایی شرایط بهینه برای رشد و شناخت عواملی که در عملکرد و کیفیت گیاهان مؤثر هستند، می‌تواند باعث کاهش هزینه تولید و افزایش درآمد بهره‌برداران شود و نقش مهمی در تأمین نیاز صنعت داروسازی کشور ایفا نماید (Yazdani Biouki et al., 2014). فرآیند جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه در مزرعه برای اکثر گیاهان معطر و دارویی همواره با مشکلاتی همراه است (Khidrapure et al., 2018). از آنجایی که جوانه‌زنی شامل فرآیندهایی است که با جذب آب توسط بذر خفته و خشک آغاز و با توسعه محور جنینی خاتمه می‌یابد از این‌رو، یک مرحله بسیار مهم از زندگی گیاه است که تحت تأثیر عوامل درونی و بیرونی قرار می‌گیرد. مهمترین عوامل شامل آب، دما، اکسیژن و نور است (Rifna et al., 2019). تنش آبی با محدود کردن دسترسی به آب برای بذرها شروع جوانه‌زنی را به تأخیر می‌اندازد و درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و در نهایت رشد و بهره‌وری گیاه را کاهش می‌دهد. رطوبت کم خاک نیز به‌عنوان یکی از عوامل اصلی مرگ بذر و گیاهچه در

طول دوره جوانه‌زنی در نظر گرفته می‌شود (Sanehkoori et al., 2021).

نتایج پژوهش فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2009) در مطالعه اثر تنش آبی ناشی از پلی اتیلن گلیکول و همچنین شوری ناشی از کلرید سدیم بر روی خصوصیات جوانه‌زنی مریم گلی کبیر (*Salvia selarea*) نشان داد، گیاه دارویی مریم گلی کبیر تا حد زیادی در مرحله جوانه‌زنی به تنش آبی و شوری متحمل است. عبادی و همکاران (Ebadi et al., 2012) در مطالعه مشابه بر روی خصوصیات جوانه‌زنی مریم گلی سهندی (*Boiss & Buhse Salvia sahendica*)، گزارش کردند که مریم گلی سهندی تحمل نسبتاً خوبی به شرایط تنش آبی و شوری در مرحله جوانه‌زنی دارد.

از آنجایی که جوانه‌زنی تحت تأثیر عوامل محیطی بسیاری نظیر دما و رطوبت قرار می‌گیرد، لذا در چرخه تولید محصول، پیش‌بینی مراحل توسعه از قبیل جوانه‌زنی و سبز شدن توسط مدل‌سازی ضروری است (Torabi et al., 2016). مدل‌سازی به توصیف کمی از چگونگی جوانه‌زنی بذرها در شرایط مختلف محیطی می‌پردازد (Khan et al., 2022). پتانسیل آب یکی از عوامل محیطی مهم برای جوانه‌زنی موفق بذرها است. مدل هیدروتایم می‌تواند به کمی کردن پاسخ جوانه‌زنی بذر به پتانسیل آب تحت تنش آبی کمک کند و ارتباط بین آن‌ها را توصیف کند (Sabouri et al., 2020). این مدل شاخص‌های سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی و میزان تحمل به شرایط تنش آبی را به ترتیب با تخمین پارامترهای ثابت هیدروتایم (θ_H)، انحراف معیار توزیع پتانسیل پایه (ψ_b) و پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی ($\psi_{b(50)}$) کمی می‌سازد (Alimaghani and Ghaderi-Far, 2014). با توجه به شاخص‌های مذکور، این مدل می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی برای گزینش و شناسایی بذور متحمل‌تر به شرایط تنش نقش مؤثری ایفا کند (Alimaghani and Ghaderi-Far, 2014). از آنجایی که پارامترهای مدل هیدروتایم مفاهیم بیولوژیکی قابل تفسیر هستند، کاربرد آن در مدیریت محصول بسیار مفید است و می‌توان از این مدل برای پیش‌بینی جوانه‌زنی بذر و ارائه اطلاعات دقیق برای زمان کاشت (Mosavi et al., 2021) و نیز برای تعیین پیش‌بینی متحمل‌ترین گونه‌ها (Idris et al., 2020).

اکولوژیکی آن‌ها در مراحل مختلف رشد از جمله جوانه‌زنی است. همچنین با توجه به محدودیت منابع آبی کشور و کمی بارش در سال‌های اخیر، تنش آبی آسیب‌های زیادی را به گیاهان دارویی در مرحله جوانه‌زنی و استقرار گیاه وارد نموده است. در این راستا مطالعه حاضر به منظور بررسی واکنش جوانه‌زنی دو گونه مریم گلی نسبت به تنش آبی طراحی شد. به همین منظور ابتدا تجزیه مدل هیدروتایم با چند توزیع آماری با هدف تعیین بهترین تابع ریاضی توجیه کننده واکنش جوانه‌زنی دو گونه مریم گلی انجام شد. پس از شناسایی مناسب‌ترین توزیع، ضمن برآورد پارامترهای هیدروتایم، دو گونه مریم گلی، از لحاظ مقادیر برآورد شده مورد مقایسه قرار گرفتند و همچنین گونه متحمل‌تر نسبت به تنش آبی بر اساس مدل هیدروتایم شناسایی شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و طرح آزمایشی

به‌منظور ارزیابی پاسخ جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی مریم گلی به تنش آبی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه ایلام در زمستان سال ۱۴۰۱ اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل تنش آبی در شش سطح (صفر، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۰/۹ و ۰/۹ - مگاپاسکال) و دو گونه مریم گلی شامل مریم گلی (*Salvia officinalis*) و مریم گلی لوله‌ای (*Salvia macrosiphon*) بودند.

بذرهای این دو نوع گونه مریم گلی از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. برای تهیه پتانسیل‌های آبی از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰ (شرکت مرک آلمان) استفاده شد. مقدار پودر پلی‌اتیلن گلیکول مورد نیاز برای پتانسیل‌های اسمزی ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۰/۹ و - مگاپاسکال به‌ترتیب ۷۹، ۱۵۱/۴، ۲۰۲/۲، ۲۴۳/۴ و ۲۷۹/۳ گرم در لیتر آب مطابق روش میشل و کافمن (Michel and Kaufman, 1973)، محاسبه شد.

قبل از اجرای آزمایش تمام وسایل مورد استفاده در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۱۵ دقیقه استریل شدند. برای اجرای این آزمایش از پتری‌دیش‌های یک‌بار مصرف با قطر هشت سانتی‌متر استفاده گردید. بذرهای هر دو گیاه با محلول هیپوکلرید سدیم دو درصد به

ژنوتیپ‌ها (Romano and Bravi, 2021) و اکوتیپ‌ها (Kiani et al., 2020) تحت شرایط تنش آبی استفاده کرد. تجزیه هیدروتایم در بسیاری از گونه‌های گیاهی، مانند رازیانه (*Foeniculum vulgare*) (Kiani et al., 2020)، بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) (Sabouri et al., 2022)، سیاهدانه (*Nigella Sativa* L.) (Nezamivand et al., 2021) و زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) (Farahinia et al., 2017) انجام شده است. در پژوهشی بر اساس تجزیه هیدروتایم بر روی جوانه‌زنی گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis*)، مقدار ثابت هیدروتایم (θ_H) ۵۸/۶۸ مگاپاسکال در ساعت و مقدار $\Psi_{b(50)}$ که بیان‌کننده تحمل به شرایط تنش می‌باشد، برابر ۰/۷۹ - مگاپاسکال محاسبه شد. همچنین انحراف معیار توزیع پتانسیل پایه ($\sigma\Psi_b$) نیز معادل ۰/۶۵ مگاپاسکال برآورد شد (Sabouri and Alavi, 2019). در پژوهش دیگری بر روی سه اکوتیپ رازیانه (*Foeniculum vulgare*) شامل همدان، بوشهر، اصفهان، تجزیه هیدروتایم نشان داد اکوتیپ بوشهر در واکنش به کاهش پتانسیل آب واجد کمترین مقدار $\Psi_{b(50)}$ است که بیانگر تحمل بیشتر این اکوتیپ به تنش آبی نسبت به دو اکوتیپ دیگر یعنی همدان و اصفهان است (Kiani et al., 2020). در مطالعه صبوری و همکاران (Sabouri et al., 2020) واکنش جوانه‌زنی گیاه دارویی بادرنجبویه به پتانسیل آب در محلول پلی‌اتیلن گلیکول و واکنش سبز شدن بذر نسبت به کم‌آبی با استفاده از مدل هیدروتایم و پنج تابع (توزیع نرمال، گامبل، ویبول، لجستیک و لوگ‌لجستیک) بررسی شد. نتایج نشان داد که توزیع لجستیک مناسب‌ترین برازش با بالاترین ضریب تبیین تصحیح شده و کمترین شاخص $AICc^1$ در آزمایش جوانه‌زنی و سبز شدن داشت. ثابت هیدروتایم (θ_H) در دو آزمایش به‌ترتیب ۴۹/۸ و ۸۳/۹ مگاپاسکال برآورد شد که تفاوت معنی‌داری داشتند. اما تفاوت معنی‌داری بین پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی ($\Psi_{b(50)}$) در آزمایش‌های جوانه‌زنی و سبز شدن مشاهده نشد (Sabouri et al., 2020).

افزایش اطلاعات در زمینه چگونگی رفتار اکوفیزیولوژیکی گیاهان دارویی، مستلزم انجام تحقیقات بیشتر به ویژه در زمینه مدل‌سازی و تعیین نیازهای

لجستیک، توزیع ویبول و توزیع گامبل برای توصیف درصد جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان استفاده شد. از بین این پنج توزیع، توابع لوگ‌لجستیک و ویبول بر روی داده‌های جوانه‌زنی هیچ‌کدام از دو گونه مریم گلی همگرا نشدند. در مقابل توزیع نرمال، لجستیک و گامبل برای داده‌های هر دو گونه همگرا شدند که در زیر به شرح آن‌ها پرداخته می‌شود. در کمی‌سازی جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان در پتانسیل‌های مختلف آبی، مدل هیدروتایم طبق رابطه ۲ تعریف می‌شود (Gummerson, 1986).

$$\theta_H = [\Psi - \Psi_b(50)]tg \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه θ_H : ثابت هیدروتایم (مگاپاسکال در ساعت) مورد نیاز جهت درصد مشخصی از جوانه‌زنی؛ Ψ : پتانسیل واقعی (مگاپاسکال) که جوانه‌زنی بذر در آن رخ می‌دهد، Ψ_b معرف پتانسیل آب پایه که در آن جوانه‌زنی به مقدار صفر درصد کاهش یافته است و t_g زمان (ساعت) لازم برای جوانه‌زنی g درصد از بذرها می‌باشد. در نهایت جهت محاسبه پتانسیل پایه مطابق رابطه ۳ برآورد شد.

$$\Psi_{b(g)} = \Psi - \left(\frac{\theta_H}{t_g}\right) \quad (\text{رابطه ۳})$$

سرعت جوانه‌زنی (GRg) مطابق رابطه ۴ با عکس زمان برای خروج ریشه‌چه کسر خاصی از بذور (t_g)، به مقدار اختلاف میان پتانسیل واقعی بذر (Ψ) و پتانسیل پایه برای خروج ریشه‌چه صدک g ($\Psi_{b(g)}$) و ثابت هیدروتایم (θ_H) بستگی دارد (Gummerson, 1986; Bradford and Still, 2004).

$$GRg = \frac{1}{tg} \frac{[\Psi - \Psi_{b(g)}]}{\theta_H} \quad (\text{رابطه ۴})$$

بعد از برآورد پارامترهای هیدروتایم، روش پروبیت بر اساس رابطه ۵ تخمین پارامترها در مدل هیدروتایم با توزیع نرمال استفاده شد (Gummerson, 1986).

$$\text{Probit}(g) = \frac{\{\Psi - (\frac{\theta_H}{t_g})\} - \Psi_{b(50)}}{\sigma_{\Psi_b}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

در این معادله $\text{Probit}(g)$ توزیع احتمالی پروبیت^۲ برای داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی، Ψ پتانسیل آب بر حسب مگاپاسکال، θ_H ثابت هیدروتایم بر حسب مگاپاسکال، t_g زمان مورد نیاز برای جوانه‌زنی g درصد از بذور بر حسب

مدت پنج دقیقه ضدعفونی شدند (Ganiyu et al., 2021) و سپس چندین بار با آب مقطر شست‌وشو داده شدند تا اثرات هیپوکلرید سدیم از بین رود.

ابتدا داخل هر پتری‌دیش کاغذ صافی قرار داده شد و تعداد ۵۰ بذر سالم در هر پتری به عنوان یک واحد آزمایشی قرار داده شد و مطابق تیمارهای تنش آبی به آن پنج میلی‌لیتر از محلول پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ اضافه شد. پتری‌ها به دستگاه انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس (Ganiyu et al., 2021) منتقل شدند. بازدید از پتری‌ها به صورت روزانه (هر ۲۴ ساعت) و در یک ساعت مشخص انجام می‌گرفت و تعداد بذره‌های جوانه زده در هر پتری برای هر گیاه شمارش و ثبت می‌گردید. بازه زمانی اجرای آزمایش ۱۲ روز بود (شمارش بذور تا زمان تثبیت تعداد بذور جوانه‌زده به مدت دو روز ادامه یافت) و معیار فرآیند جوانه‌زنی خروج دو میلی‌متر یا بیشتر طول ریشه‌چه بود (Willenborg et al., 2005). پس از سپری شدن زمان‌های مورد نظر برای جوانه‌زنی، اقدام به اندازه‌گیری خصوصیات رویشی گیاهچه‌ها مانند طول ریشه‌چه و طول شاخساره با استفاده از خط‌کش بر حسب سانتی‌متر گردید. همچنین پس از خشک شدن نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت اقدام به اندازه‌گیری وزن خشک ریشه‌چه و شاخساره با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ شد.

شاخص بنیه گیاهچه با استفاده از رابطه ۱ به‌دست آمد (Abdul-Baki and Anderson, 1973).

$$VI = \frac{Ls \times Gp}{100} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این معادله VI شاخص بنیه گیاهچه Ls و GP به‌ترتیب متوسط طول گیاهچه (طول ریشه‌چه + طول شاخساره) و درصد جوانه‌زنی هستند.

پس از ثبت داده‌ها ابتدا از نظر فرضیات تجزیه واریانس از جمله نرمال بودن خطاهای آزمایشی بررسی شدند. سپس تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS ۷.9 انجام شد.

در بخش مدل‌سازی، پس از محاسبه درصد جوانه‌زنی تجمعی، از پنج تابع ریاضی در تجزیه هیدروتایم شامل توزیع نرمال (پروبیت)، توزیع لجستیک، توزیع لوگ

². Probit probability distribution

مدل به داده‌ها است. هر چه مقدار RMSE کمتر باشد نشان‌دهنده آن است که مدل برازش مناسب‌تری داشته است. محاسبه این شاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS V.9 انجام شد

همچنین برای انتخاب بهترین تابع از شاخص آکائیک تصحیح شده AICc (رابطه ۹) نیز استفاده شد (Burnham and Anderson, 2002). محاسبه این شاخص با استفاده از نرم افزار اکسل انجام شد.

$$AICc = n \cdot \ln \left(\frac{SS_{\text{residuals}}}{n} \right) + 2k + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} \quad (\text{رابطه ۹})$$

$$\Delta_i = AICc_i - \min AICc \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

که در این رابطه K تعداد پارامترهای مدل، n تعداد نقاط نمونه‌گیری می‌باشد. در مقایسه بین مدل‌ها هر کدام که مقدار AICc کمتر یا منفی‌تری داشته باشند به‌عنوان مدل برتر معرفی می‌شود و مدلی که طبق رابطه ۱۰، Δ_i پایین‌تر از ۱۰ داشته باشد نشان می‌دهد که با برترین مدل (با حداقل AICc) اختلاف غیرمعنی‌داری دارد و به همراه آن، جزء بهترین مدل‌ها است (Burnham and Anderson, 2002).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تنش آبی و گونه و همچنین اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذر مریم گلی داشت (جدول ۱) که به شرح زیر به تفکیک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

درصد جوانه‌زنی بذر

تنش آبی و گونه تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی بذر مریم گلی در سطح احتمال یک درصد داشت، اما برهمکنش تنش آبی و گونه برای این صفت غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱). با اعمال تنش آبی درصد جوانه‌زنی بذر مریم گلی کاهش یافت، به‌طوری‌که با کاهش پتانسیل آب به ۰/۳- مگاپاسکال درصد جوانه‌زنی بذر مریم گلی بیشتر از ۵۰ درصد کاهش پیدا کرد (شکل ۱). مریم گلی لوله‌ای در سطح تنش آبی ۰/۹- مگاپاسکال هیچ جوانه‌زنی نداشت. در متوسط شرایط تنش، مریم گلی با ۳۸/۲ درصد جوانه‌زنی بیشتری نسبت به مریم گلی لوله‌ای (۳۱/۶ درصد) داشت (شکل ۲).

ساعت، $\Psi_{b(50)}$ پتانسیل پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی بر حسب مگاپاسکال، σ_{Ψ_b} انحراف معیار توزیع مقادیر پتانسیل برای درصدهای مختلف جوانه‌زنی $\Psi_{b(g)}$ در جمعیت بذور می‌باشد (Gummerson, 1986). به طور معمول از توزیع نرمال برای توصیف جوانه‌زنی و بیان تنوع نسبی پتانسیل آب پایه بذرها یک جمعیت معین استفاده می‌شود.

همچنین به داده‌ها توزیع‌های لجستیک و گامبل نیز برازش داده شد. توزیع احتمالی لجستیک^۳ جهت پیش‌بینی درصد جوانه‌زنی (g) در مدل هیدروتایم بر اساس رابطه ۶ محاسبه گردید (Mesgaran et al., 2013).

$$g = \frac{1}{1 + \exp \left(- \left(\frac{\Psi - \left(\frac{\theta_H}{\theta_L} \right) \mu}{\sigma} \right) \right)} \quad (\text{رابطه ۶})$$

در این معادلات، μ و σ به‌ترتیب بیانگر مقیاس منحنی (Scale) و مکان (Location) است.

مدل هیدروتایم مبتنی بر توزیع احتمالی گامبل^۴ برای پیش‌بینی درصد جوانه‌زنی (g) به‌صورت رابطه ۷ ارائه شده است (Mesgaran et al., 2013).

$$g = \exp \left[- \exp \left(- \left(\frac{\left(\Psi - \left(\frac{\theta_H}{\theta_L} \right) \mu \right)}{\sigma} \right) \right) \right] \quad (\text{رابطه ۷})$$

در توزیع نرمال پارامتر مکان (μ) که مساوی میانه و مد است، برابر با $\Psi_{b(50)}$ می‌باشد. در توزیع لجستیک همانند توزیع نرمال، متقارن می‌باشد و μ مساوی $\Psi_{b(50)}$ است. اما در توزیع گامبل که متقارن نیست جهت محاسبه $\Psi_{b(50)}$ و $\Psi_{b(g)}$ از معادله توزیع به‌صورت رابطه ۸ استفاده شد (Sabouri et al., 2020; Mesgaran et al., 2013).

$$\Psi_{b(g)} = \mu - \sigma \cdot \left[\ln \left(\ln \left(\frac{1}{g} \right) \right) \right] \rightarrow \quad (\text{رابطه ۸})$$

$$\Psi_{b(50)} = \mu - \sigma \cdot [\ln (\ln (2))]$$

برای برازش توزیع‌های مختلف به داده‌های جوانه‌زنی از نرم افزار آماری SAS و از رویه Proc nlin استفاده شد. برای ارزیابی کارایی توابع، از سه شاخص ضریب تبیین R^2_{adj} ، ریشه میانگین مربعات RSME و شاخص آکائیک تصحیح شده AICc استفاده شد.

R^2_{Adj} معیاری از توانایی پیش‌بینی مدل را نشان می‌دهد که هر چه به یک نزدیک‌تر باشد معرف برازش بهتر

4. Gumbel probability distribution

3. Logistic probability distribution

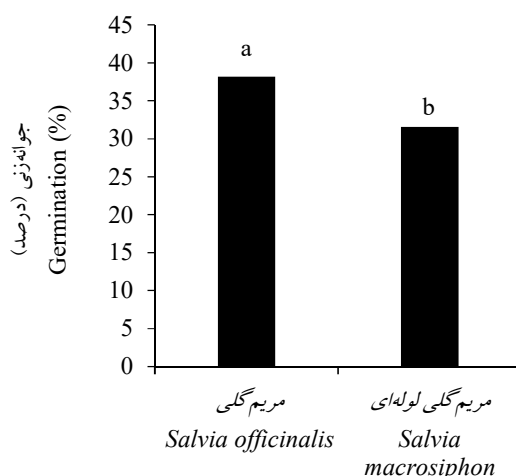
جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر تنش آبی بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذر در مریم گلی

Table 1. Analysis of variance effect of water stress on seed germination components in *Salvia*

منابع تغییرات Source of variation	میانگین مربعات Mean of squares		
	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	شاخص بنیه Vigor index
تنش آبی (WS) Water stress	5	6061.55**	83.968**
گونه (S) Species	1	520.08**	2.054**
تنش آبی × گونه (WS) × (S)	5	6.08 ^{ns}	0.699**
خطای آزمایش Error	36	8.58	0.210
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	8.40	15.36

**: Significant at 1% probability levels

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

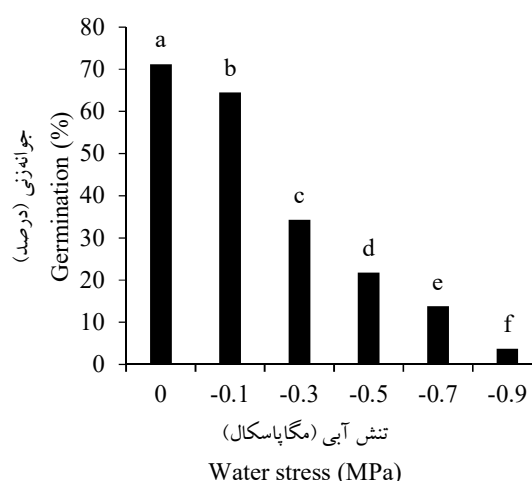


شکل ۲- اثرات گونه بر درصد جوانه‌زنی مریم گلی
Figure 2. Effects of species on germination percent of *Salvia*

در بذرها شده و باعث کاهش جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه می‌شود که این کاهش احتمالاً به دلیل توقف رشد جنین و مهار رشد ریشه‌چه است (Liu *et al.*, 2019). شاهرجبیان و همکاران (Shahrajabian *et al.*, 2020) گزارش کردند که با افزایش تنش آبی ناشی از محلول پلی‌اتیلن گلیکول، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، رشد و استقرار گیاهچه گل حشره‌کش (*Tanacetum cineraiifolium*) کاهش معنی‌داری پیدا کرد.

شاخص بنیه بذر

شاخص بنیه بذر تحت تأثیر گونه، تنش آبی و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۱). با ایجاد تنش آبی، بنیه بذر در هر دو گونه مریم به طور معنی‌داری کاهش یافت؛ اما بین سطوح تنش شدید



شکل ۱- اثرات تنش آبی بر درصد جوانه‌زنی مریم گلی
Figure 1. Effects of water stress on germination percent of *Salvia*.

جوانه‌زنی بذر یک فرآیند فیزیولوژیکی پیچیده در نمو گیاهان است که با انجام واکنش‌های بیولوژیکی و بیوشیمیایی رشد یک گیاهچه را شروع می‌کند (Poudel *et al.*, 2019). با افزایش تنش آبی، میزان بازدارندگی جوانه‌زنی بذر افزایش می‌یابد که ممکن است به دلیل پتانسیل کم آب یا فشار اسمزی بالا باشد که جذب آب در مرحله اولیه جوانه‌زنی بذر را به‌طور جدی مختل کرده و از جوانه‌زنی طبیعی بذرها جلوگیری می‌کند (Hou and Ma, 2022). گزارش شده است که فرآیند جوانه‌زنی بذر شامل تغییرات در هورمون گیاهی اسید آبسزیک (ABA) و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی است به‌طوری‌که ABA از جوانه‌زنی بذر جلوگیری می‌کند. تنش آبی عمدتاً از طریق افزایش بیوسنتز ABA منجر به تجمع بیشتر این هورمون

از نظر این صفت، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲).

شاخص بنیه یک شاخص مهم کیفیت بذر است که پتانسیل ظهور سریع و یکنواخت گیاهان را در شرایط مختلف تعیین می‌کند (Ouahzizi et al., 2023). کاهش شاخص بنیه بذر را می‌توان به کاهش میزان رطوبت قابل‌دسترس بذر نسبت داد که متعاقباً بر فعالیت آنزیمی دخیل در انتقال ذخایر اندوسپرم به فرم مناسب برای رشد محورهای جنینی و سنتز ترکیبات بذر تأثیر می‌گذارد. زمانی که بذر تحت تنش آبی قرار بگیرد، انعطاف‌پذیری دیواره سلولی در هنگام رشد کم شده و توسعه سلولی و در نتیجه رشد ریشه‌چه و شاخساره کاهش پیدا می‌کند. نتیجه کاهش رشد این اندام‌ها، کاهش طول شاخساره و وزن خشک آن است که ارتباط مستقیم با بنیه بذر دارد (Sabokdast et al., 2018). مطابق با یافته‌های این پژوهش اوآحزیزی و همکاران (Ouahzizi et al., 2023) دریافتند که افزایش غلظت محلول پلی‌اتیلن گلیکول منجر

به کاهش معنی‌دار شاخص بنیه دو جمعیت آویشن (*Thymus atlanticus*) شد. این نتایج در مورد گیاهانی دارویی همچون شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) (Han et al., 2022) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) (Arshad et al., 2022) نیز مشاهده شده است.

شاخص‌های رشدی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات تنش آبی و گونه بر طول شاخساره، طول ریشه‌چه، وزن خشک شاخساره و ریشه‌چه مریم گلی در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشت. همچنین برهمکنش تنش آبی و گونه بر طول شاخساره و طول ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بر این اساس برای این دو صفت اخیر، مقایسه میانگین بین سطوح مختلف تنش آبی برای هر گونه به صورت مجزا (برش‌دهی بر اساس گونه) انجام شد (شکل ۳).

جدول ۲- اثرات تنش آبی بر شاخص بنیه بذر دو گونه مریم گلی

Table 2. Effects of water stress on vigor index of two *Salvia* species

گونه	تنش آبی (مگاپاسکال)	شاخص بنیه
Species	Water stress (M Pa)	Vigor index
مریم گلی لوله‌ای <i>Salvia macrosiphon</i>	0	8.25 ^a
	-0.1	6.72 ^b
	-0.3	3.09 ^c
	-0.5	0.82 ^d
	-0.7	0.29 ^d
	-0.9	0.12 ^e
مریم گلی <i>Salvia officinalis</i>	0	6.93 ^a
	-0.1	5.87 ^b
	-0.3	2.54 ^c
	-0.5	0.90 ^d
	-0.7	0.31 ^{de}
	-0.9	0.12 ^e

مقایسه میانگین به صورت برش‌دهی و برای هر گونه جداگانه انجام شده است. در هر ستون برای هر گونه، حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون مقایسه میانگین حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

The mean comparison has been done by slicing and for each species separately. In each column for each species, the common letters have no significant difference based on the least significant difference (LSD) mean comparison test at the 5% probability level.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تنش آبی بر شاخص‌های رشد بذر در مریم گلی

Table 3. Analysis of variance (mean square) effect of water stress on growth indices in *Salvia*

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		طول شاخساره	طول ریشه‌چه	وزن خشک شاخساره	وزن خشک ریشه‌چه
Source of variation	df	Shoot length	Root length	Shoot dry weight	Root dry weight
تنش آبی (WS)	5	45.098**	26.134**	0.000036**	0.0000114**
گونه (S)	1	9.013**	3.413**	0.000183**	0.0000544**
تنش آبی × گونه (S) × (WS)	5	2.514**	0.777**	0.000002 ^{ns}	0.0000009 ^{ns}
خطای آزمایش Error	36	0.232	0.109	0.000001	0.0000004
CV (%)	-	13.85	13.17	12.52	18.08

** : Significant at 1% probability levels; ^{ns}: non significant

** : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد؛ ^{ns}: غیرمعنی‌دار

طول شاخساره

با اعمال تنش آبی، طول شاخساره هر دو گونه مریم گلی کاهش یافت. در پتانسیل‌های آب ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ - مگاپاسکال طول شاخساره مریم گلی در مقایسه با عدم تنش آبی به ترتیب ۶/۷۹، ۱۹/۹۰، ۶۲/۶۲، ۶۸/۹۳ و ۷۹/۶۱ درصد کاهش یافت. همچنین میزان کاهش طول شاخساره مریم گلی لوله‌ای در مقایسه با عدم تنش در پتانسیل‌های آب ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ - مگاپاسکال ۵/۳۲، ۲۱/۶۳، ۶۳/۴۷ و ۷۶/۵۹ درصد بود (شکل ۳).

کاهش جذب آب توسط بذر در شرایط تنش آبی ممکن است موجب کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از بافت‌های ذخیره‌ای بذر به جنین شود و در نتیجه طول شاخساره کاهش پیدا کند (Hosseini et al., 2020). متابولیت‌های نشاسته مانند گلوکز برای جوانه‌زنی بذر حیاتی هستند زیرا به عنوان اسمولیت برای حفظ فشار تورژسانس سلولی و منابع انرژی نقش دارند. در شرایط کمبود آب، متابولیسم نشاسته کاهش می‌یابد که منجر به جوانه‌زنی ضعیف می‌شود این رخداد می‌تواند حاصل تنش آبی باشد که جنین نتواند ریشه‌چه و شاخساره را توسعه دهد (Javaid et al., 2022).

هم‌راستا با نتایج این پژوهش اورعی و همکاران (Orace et al., 2022) در واکنش جوانه‌زنی گل ختمی (*Alcea rosea* L. با دو اکوتیپ (مشهد و تهران) و اثر تنش خشکی گزارش کردند که میزان طول شاخساره اکوتیپ تهران با افزایش پتانسیل اسمزی نسبت به اکوتیپ مشهد کاهش بیشتری نشان داد. آن‌ها یکی از دلایل کاهش طول شاخساره در شرایط تنش خشکی را کاهش انتقال مواد غذایی از بافت‌های ذخیره‌ای بذر به جنین بیان کردند.

طول ریشه‌چه

بیشترین طول ریشه‌چه مریم گلی لوله‌ای (۴/۹ سانتی‌متر) در تیمار شاهد (عدم تنش آبی) و کمترین میزان آن (۱/۰۵ سانتی‌متر) در پتانسیل آب ۰/۷ - مگاپاسکال به دست آمد. بیشترین طول ریشه‌چه مریم گلی در تیمار شاهد (۴/۳ سانتی‌متر) و پتانسیل آب ۰/۱ - مگاپاسکال و کمترین میزان آن در پتانسیل‌های آب ۰/۷ و ۰/۹ - مگاپاسکال (به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۴۵ سانتی‌متر) به دست آمد (شکل ۳).

در شرایط تنش آبی، میزان اسید آسزیک در بافت‌های گیاه افزایش یافته و این امر در ممانعت از جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه مؤثر است که این موضوع می‌تواند به واسطه تغییرات بیان ژن‌های درگیر، پس از اعمال تنش آبی باشد (Ziaei and Jafari, 2022). تحت تنش آبی طول ریشه‌چه کاهش می‌یابد که می‌تواند به دلیل کاهش جذب آب و تأخیر در جابه‌جایی کربوهیدرات‌ها باشد (Seleiman et al., 2021). نتایج به دست آمده از پژوهش جهانبخش و همکاران (Jahanbakhish et al., 2019) نشان داد، در اثر افزایش تنش آبی طول ریشه‌چه اکوتیپ‌های مختلف گیاهچه بابونه (*Matricaria chamomilla*) کاهش یافت. به طوری که بلندترین و کوتاه‌ترین طول ریشه‌چه به ترتیب مربوط به اکوتیپ کرمان در سطح تنش ۲- بار و اکوتیپ اصفهان در سطح تنش ۴- بار بود. این محققان بیان کردند که افزایش شدت تنش خشکی، باعث کاهش در میزان آب قابل دسترس بذرها برای جوانه‌زنی شده و در نتیجه سرعت فرایندهای متابولیکی کاهش پیدا می‌کند و موجب کاهش مقدار طول ریشه‌چه می‌شود. کاهش رشد گیاهچه ممکن است به دلیل کاهش جذب آب و کمبود تغذیه‌ای ناشی از عدم تعادل اسمزی و کاهش فعالیت‌های متابولیکی تحت تنش آبی باشد. بنابراین به نظر می‌رسد کاهش طول گیاهچه‌های مریم گلی تحت تنش آبی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول نیز می‌تواند به دلیل کاهش در تقسیمات سلولی، کاهش جذب آب و کاهش در رشد طولی سلول باشد که با مطالعه حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2020) مطابقت دارد.

وزن خشک ریشه‌چه

با اعمال تنش آبی وزن خشک ریشه‌چه کاهش یافت. وزن خشک ریشه‌چه مریم گلی لوله‌ای در مقایسه با مریم گلی ۲۸/۱ درصد بیشتر بود (جدول ۴).

احتمالاً یکی از علل کاهش وزن ریشه‌چه در پتانسیل‌های آب کمتر، تحرک کم مواد غذایی و انتقال کمتر آن‌ها از لپه به محور جنینی است. از طرفی عواملی مانند کاهش فعالیت آنزیم‌ها و ترشح هورمون‌ها که سرعت رشد محور جنینی را در شرایط تنش آبی تحت تأثیر قرار می‌دهند، می‌توانند بر تحرک مواد غذایی و انتقال آن‌ها از لپه‌ها به محور جنینی تأثیر بگذارند و باعث کاهش وزن ریشه‌چه شوند (Sabokdast et al., 2018). در گل حشره-کش (*Tanacetum cineraiifolium*) حداکثر وزن تر و

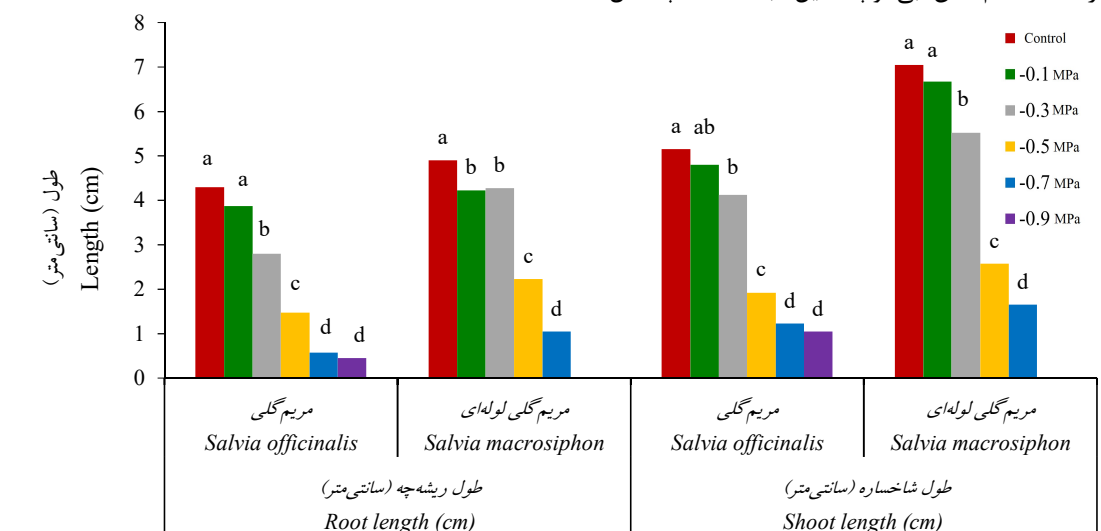
مشاهده شد. وزن خشک شاخساره مریم گلی لوله‌ای در مقایسه با مریم گلی ۲۲/۷ درصد بیشتر بود که البته باید یادآور شد مریم گلی لوله‌ای در سطح ۰/۹- مگاپاسکال قدر به جوانه‌زنی نبود (جدول ۴).

کاهش وزن گیاهچه از رخدادهای رایجی است که در اکثر گیاهان در شرایط تنش خشکی اتفاق می‌افتد. تنش آبی همچنین استفاده از ذخیره بذر و حل شدن قندها را در طول جوانه‌زنی کاهش داده که باعث کاهش وزن خشک گیاهچه می‌شود (Ahmed et al., 2019).

خشک ریشه‌چه به ترتیب ۵۹/۱۶ و ۳/۳۸ میلی گرم) برای تیمار شاهد ثبت شد و حداقل مقدار برای وزن خشک و تر ریشه با کاربرد ۱- بار به دست آمد، ضمن اینکه بین شاهد و سطح تنش ۱- بار تفاوت معنی‌داری وجود داشت (Shahrajabian et al., 2020).

وزن خشک شاخساره

بیشترین (۰/۰۱۴ گرم در بوته) و کمترین (۰/۰۰۱۹ گرم در بوته) وزن خشک شاخساره مریم گلی به ترتیب در تیمار شاهد (عدم تنش آبی) و پتانسیل آب ۰/۹- مگاپاسکال



شکل ۳- تأثیر تنش آبی بر طول ریشه‌چه و شاخساره دو گونه مریم گلی

Figure 3. Effect of water stress on root and shoot length of two species *Salvia*.

برای هر گونه حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون مقایسه میانگین حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد است.

For each species, the common letters on columns present significant differences based on the least significant difference (LSD) mean comparison test at the 5% probability level.

جدول ۴- اثرات تنش آبی و گونه بر درصد جوانه‌زنی و وزن خشک ریشه‌چه و شاخساره مریم گلی

Table 4. Effects of water stress and species on germination percent and dry weight of shoot and root of *Salvia*

تنش آبی (مگاپاسکال)	وزن خشک شاخساره (گرم)	وزن خشک ریشه‌چه (گرم)
Water stress (MPa)	Shoot dry weight (g)	Root dry weight (g)
0	0.0140 ^a	0.0072 ^a
-0.1	0.0132 ^a	0.0062 ^b
-0.3	0.0111 ^b	0.0054 ^c
-0.5	0.0060 ^c	0.0027 ^d
-0.7	0.0052 ^c	0.0013 ^e
-0.9	0.0041 ^d	0.0005 ^f
گونه (S) Species		
مریم گلی <i>Salvia officinalis</i>	0.0071 ^b	0.0032 ^b
مریم گلی لوله‌ای <i>Salvia macrosiphon</i>	0.0087 ^a	0.0041 ^a

در هر ستون، برای هر عامل، حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون مقایسه میانگین حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

In each column, for each factor, the common letters have no significant difference based on the least significant difference (LSD) mean comparison test at the 5% probability level.

هم راستا با نتایج این پژوهش، کاهش در زیست‌توده گیاهی به دلیل تنش آبی ناشی از پلی اتیلن گلیکول در بسیاری از گیاهان از جمله انیسون (*Pimpinella anisum*) گزارش شده است (Hosseini et al., 2020). در مطالعه اورعی و همکاران (Oraee et al., 2022)، تحت تنش آبی بیشترین وزن تر گیاهچه گل ختمی در اکوتیپ مشهد در تیمار شاهد و کمترین وزن تر در اکوتیپ تهران در تیمار ۸- بار مشاهده شد. با منفی تر شدن پتانسیل آب، فشار تورژسانس درون سلول کاهش یافته و موجب کاهش حجم سلول می‌شود که کاهش وزن تر و کاهش طول شاخساره و ریشه‌چه را در پی خواهد داشت.

مدل هیدروتایم (زمان- رطوبتی)

از پنج توزیع مورد استفاده برای داده‌های جوانه‌زنی مربوط به دو گونه مریم گلی دو توزیع ویبول و لوگ-لجستیک در همان مرحله نخست همگرا نشدند که نشان می‌دهد توزیع‌های مذکور قادر به توصیف داده‌های جوانه‌زنی این دو گونه مریم گلی نبودند. در مقابل سه توزیع نرمال، گامبل و لجستیک همگرا شدند و پارامترهای هیدروتایم با استفاده از هر سه توزیع برآورد شد. در مرحله بعد به منظور ارزیابی بهترین برازش حاصل از سه توزیع مذکور از شاخص‌های آکائیک تصحیح شده (AICc)، و همچنین دو شاخص ضریب تبیین تصحیح شده (R^2_{adj}) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) به عنوان شاخص‌های رگرسیونی استفاده شد. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود برای مریم گلی لوله‌ای بهترین برازش مربوط به توزیع لجستیک تعیین شد که حداکثر ضریب تبیین تصحیح شده (۰/۹۵۹)، حداقل جذر میانگین مربعات خطا (۰/۰۴۹) و کمترین شاخص آکائیک (۱۷۳۰/۷۵-) را به خود اختصاص داد. نظر به اینکه Δi محاسبه شده برای توزیع لجستیک نسبت به دو توزیع دیگر بیشتر از ۱۰ می‌باشد، لذا می‌توان ادعا داشت این توزیع با اختلاف معنی‌دار از دو توزیع دیگر، مناسب‌ترین توزیع در برآورد پارامترهای جوانه‌زنی بذر مریم گلی لوله‌ای شناسایی شد.

در ارزیابی سه توزیع برای گیاه مریم گلی نیز نتیجه مشابهی حاصل شد و توزیع لجستیک بین توزیع‌های همگرا، از لحاظ شاخص‌های ارزیابی برترین بود، به‌طوری که بالاترین ضریب تبیین تصحیح شده ۰/۹۶۹، کمترین مجذور مربعات خطا ۰/۰۴۰ و منفی‌ترین شاخص آکائیک

۲۱۵۱/۳۱- مربوط به این تابع بود و با توجه به Δi محاسبه شده در اینجا نیز می‌توان توزیع لجستیک را با اختلاف معنی‌دار نسبت به توزیع‌های نرمال و گامبل، توزیع مناسب-تری معرفی کرد (جدول ۵). توزیع لجستیک در مطالعات کاربردی دیگر مانند تجزیه و تحلیل جوانه‌زنی و رشد استفاده شده است (Evans et al., 2000). نتایج این مطالعه نیز نشان داد که پارامترهای برآورده شده توزیع لجستیک از تناسب بیشتری نسبت به سایر توزیع‌ها برخوردار است.

مقایسه توزیع‌های مختلف مثل لجستیک، لوگ لجستیک، گامبل، ویبول یا پروبیت و غیره در تجزیه هیدروتایم ضروری است، زیرا به محققین این امکان را می‌دهد که بهترین توزیع ریاضی که بتواند به صورت دقیق پاسخ جوانه‌زنی را تحت پتانسیل‌های آب متفاوت توصیف می‌کند، شناسایی کنند تا بر اساس آن نتایج مطمئن‌تر و کاربردی‌تر ارائه شود (Bradford, 2002; Ellis et al., 1986).

بر اساس نتایج مدل لجستیک به عنوان برترین تابع برای هر دو گونه مریم گلی لوله‌ای و مریم گلی، پارامتر $\psi_{b(50)}$ به ترتیب ۰/۳۵۹- و ۰/۶۱۱- مگاپاسکال برآورد شده است (جدول ۵). مقدار این پارامتر نشان‌دهنده سطحی از پتانسیل است که در مقادیر کمتر از این پتانسیل، درصد جوانه‌زنی بذور کمتر از ۵۰ درصد خواهد بود (Bradford and Still, 2004). از نظر شاخص $\psi_{b(50)}$ بر اساس آزمون t ، اختلاف بین دو گونه معنی‌دار بود ($P < .001$, $t = 11.45$) و با توجه به مقدار عددی کوچک‌تر این شاخص در مریم گلی (۰/۶۱۱- مگاپاسکال) نسبت به مریم گلی لوله‌ای (۰/۳۵۹- مگاپاسکال)، می‌توان چنین استنباط کرد که از نظر تحمل به خشکی در مرحله جوانه‌زنی، گیاه مریم گلی در شرایط تنش آبی مشابه، در برابر خشکی تحمل بیشتری نسبت به مریم گلی لوله‌ای دارد.

از آنجایی که جوانه‌زنی یک معیار مناسب برای غربال-گری تحمل به تنش خشکی است و از طرفی گونه‌های متحمل واجد سازگاری‌هایی برای مصرف محدود آب دارند (Saima et al., 2018)، بسیاری از محققین پارامتر $\psi_{b(50)}$ را به عنوان معیار گزینش برای تحمل به خشکی پیشنهاد کردند (Cardoso and Bianconi, 2013; Mosavi et al., 2021; Hamidi et al., 2022; Khan et al., 2022). هر چه مقدار عددی $\psi_{b(50)}$ در گونه‌ای

منفی‌تر و کوچک‌تر باشد نشان‌دهنده تحمل بیشتر آن گونه نسبت به تنش خشکی و توانایی بیشتر بذور آن گیاه برای تحمل تنش آبی در مرحله جوانه‌زنی است.

در مقایسه مقادیر ثابت هیدروتایم (θ_H)، برای مریم گلی و مریم گلی لوله‌ای، از آنجایی که مقدار این پارامتر در مریم گلی لوله‌ای (۴۰/۱۵) مگاپاسکال بر ساعت) کمتر از مقدار آن در مریم گلی (۹۵/۴۶) مگاپاسکال بر ساعت) به‌دست آمد و آزمون t نیز اختلاف بین این دو مقدار را معنی‌دار نشان داد ($P < 0.001$, $t = 14.00$)، بیانگر این مطلب است که مریم گلی لوله‌ای سرعت جوانه‌زنی بیشتری نسبت به مریم گلی دارد.

سرعت جوانه‌زنی بذر یک عامل کلیدی است که پتانسیل بقای بذر را در شرایط بهینه یا تنش‌زا تعیین می‌کند. با جوانه‌زنی سریع، شانس بقا در مورد استقرار موفقیت آمیز توده بیشتر است (Wijewardana et al., 2019). خشکی به‌دلیل تأثیر بر جذب آب و فعالیت متابولیکی درون بذر به‌طور قابل‌توجهی بر پتانسیل و سرعت جوانه‌زنی اثر می‌گذارد (El Hamdaoui et al., 2021). در شرایط تنش آبی، کاهش جذب آب با کاهش فعالیت‌های آنزیمی مربوط به فرآیندهای بیوشیمیایی جوانه‌زنی همراه است که علت اصلی کاهش سرعت جوانه‌زنی تحت شرایط تنش آبی است. به علاوه در سطوح بالای تنش آبی، آسیب‌های احتمالی ناشی از واسرشت شدن ساختمان سه بعدی آنزیم‌ها می‌تواند یکی از دلایل اصلی کاهش سرعت

جوانه‌زنی باشد (Zamani et al., 2018). در پتانسیل‌های اسمزی پایین‌تر، جوانه‌زنی سریع‌تر یک استراتژی برای استقرار گیاهچه در نظر گرفته شده که می‌تواند رقابت را در سال‌هایی که میزان بارندگی کمتر از حد متوسط یا دارای بارش نامنظم است، کاهش دهد (Yousefi et al., 2020). همسو با یافته‌های این پژوهش، اواحیزی و همکاران (Ouahzizi et al., 2023) دریافتند که افزایش غلظت محلول پلی‌اتیلن گلیکول منجر به کاهش سرعت جوانه‌زنی دو جمعیت آویشن شد.

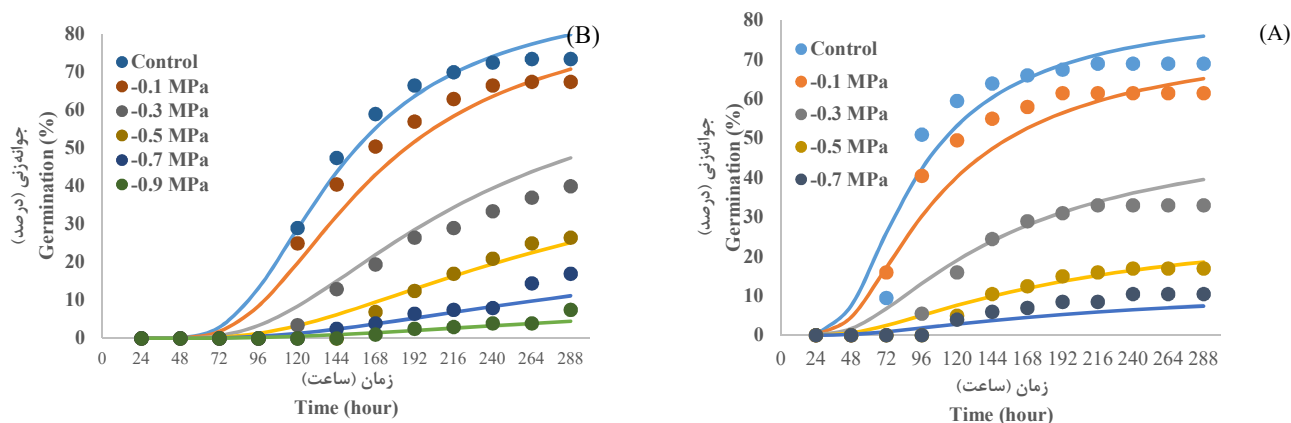
ژنوتیپ‌ها، ارقام و گونه‌های مختلف یک گیاه می‌توانند در واکنش به تنش آبی متفاوت از هم عمل کنند. سوکس و همکاران (Saux et al., 2020) با بررسی تأثیر تنش آبی بر جوانه‌زنی بذر هیبریدهای مختلف در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus*) گزارش کردند برخی هیبریدها می‌توانند در شرایط تنش آبی سرعت جوانه‌زنی بسیار بیشتری داشته باشند، در آزمایش آن‌ها هیبرید A بعد از گذشت ۲ روز و هیبرید B پس از ۹ روز به حداکثر درصد جوانه‌زنی رسیدند. بررسی واکنش جوانه‌زنی سه گونه شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) به تنش آبی نشان داد که در این شرایط، شاخص‌های جوانه‌زنی هر سه گونه کاهش یافت، اما مشاهده شد که تحمل بذر گونه *G. inflata* به خشکی بیشتر از دو گونه دیگر (*G. glabra* L. و *G. uralensis* Fisch) است (Han et al., 2022).

جدول ۵- پارامترهای برآورد شده مدل هیدروتایم جوانه‌زنی بذر با استفاده از توزیع‌های مختلف در دو گونه مریم گلی

Table 5. Estimated parameters hydrotim model for seed germination using different distributions in two *Salvia* species

شاخص	ضریب تبیین	مجدور	انحراف معیار توزیع	پتانسیل پایه برای ۵۰	ثابت هیدروتایم	توزیع	گیاه
آکائیک	تصحیح شده	خطا مربعات	پتانسیل پایه	درصد جوانه‌زنی	(مگاپاسکال بر ساعت)	Probability distribution	Genotype
AICc	R^2 adj	RMSE	$\sigma_{\psi b} \pm SE$ (MPa)	$\psi_b(50) \pm SE$ (MPa)	$\theta_H \pm SE$ (MPa h)		
-1709.97	0.956	0.051	0.324±0.007	-0.388±0.010	43.28±1.456	گامبل Gumbel	مریم گلی لوله‌ای
-1730.75	0.959	0.049	0.190±0.004	-0.359±0.009	40.15±1.440	لجستیک Logistic	<i>Salvia macrosiphon</i>
-1001.40	0.925	0.204	0.359±0.007	-0.387±0.013	46.908±2.083	نرمال Normal	
-2140.13	0.968	0.041	0.343±0.006	-0.652±0.013	101.30±2.406	گامبل Gumbel	مریم گلی
-2151.31	0.969	0.040	0.203±0.004	-0.611±0.013	95.46±2.509	لجستیک Logistic	<i>Salvia officinalis</i>
-1345.46	0.947	0.181	0.381±0.006	-0.598±0.020	93.79±3.919	نرمال Normal	

SE: خطای استاندارد



شکل ۴- جوانه‌زنی تجمعی بذره‌های مریم‌گلی لوله‌ای (الف) و مریم‌گلی (ب) در دامنه‌ای از پتانسیل‌های آب بر اساس توزیع لجستیک

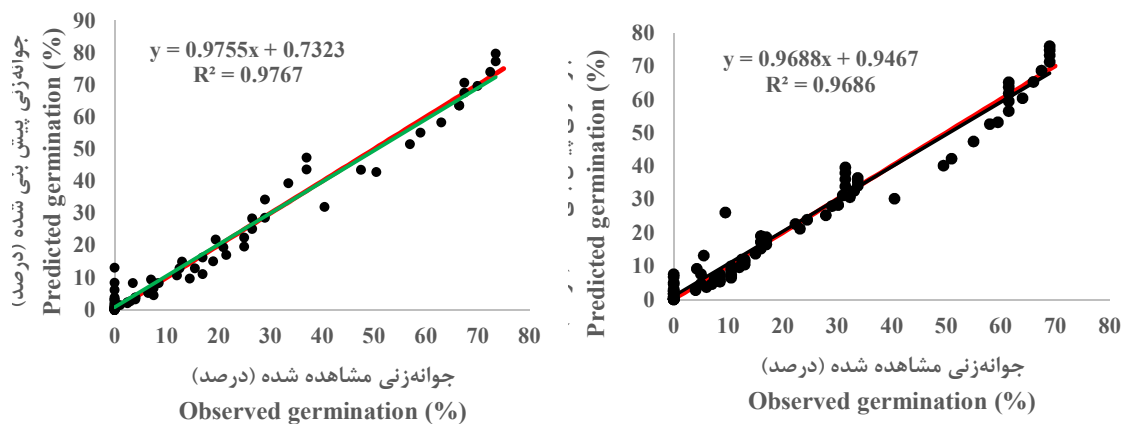
داده‌های مشاهده شده با نقاط (دایره) نشان داده شدند و خطوط به وسیله مدل هیدروتایم بر اساس توزیع لجستیک پیش‌بینی شده است.

Figure 4. Cumulative germination of *Salvia macrosiphon* (A) and *Salvia officinalis* (B) seeds in a range of water potentials based on logistic distribution.

The observed data were shown with points (circle), and the lines were predicted by the hydrottime model based on logistic distribution.

همچنین نمودار رگرسیون یک به یک بین درصد جوانه‌زنی مشاهده شده و پیش‌بینی شده در شکل ۵ نشان شده است. بر اساس رگرسیون یک به یک، ضریب تبیین برای مریم‌گلی لوله‌ای و مریم‌گلی به ترتیب بیش از ۰/۹۶ و ۰/۹۷ به دست آمد که بیانگر قدرت بالای مدل برازش شده در پیش‌بینی و برآورد پارامترها است.

در ارتباط با سومین پارامتر مدل هیدروتایم یعنی σ_{vb} ، مقادیر آن برای دو گونه مریم‌گلی لوله‌ای و مریم‌گلی به ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۲۰ برآورد شد. مقایسه این مقادیر بر اساس آزمون t اختلاف معنی‌داری را نشان نداد که بیانگر همسانی در یکنواختی جوانه‌زنی در ۲ گونه مورد مطالعه بود. درصد جوانه‌زنی تجمعی و مدل هیدروتایم برازش داده شده به داده‌ها برای دو گونه در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۵- رگرسیون ۱:۱ بین درصد جوانه‌زنی مشاهده شده (نقاط) در مقابل درصد جوانه‌زنی پیش‌بینی شده (خط سبز) بر اساس مدل هیدروتایم با توزیع لجستیک در مریم‌گلی لوله‌ای (الف) و مریم‌گلی (ب). خط رگرسیون یک به یک با رنگ قرمز نشان داده شده است که انطباق بالایی با خط سبز دارد.

Figure 5. Regression 1:1 between the observed germination percentage and the predicted germination percentage based on the hydrottime model with Logistic in *Salvia macrosiphon* (A) and *Salvia officinalis* (B). The 1:1 regression line is shown in red, which matches the green line.

برترین برآزش را برای داده‌های درصد جوانه‌زنی و درصد سبز شدن بادرنجبویه به دست می‌دهد. در این مطالعه توزیع لجستیک به‌ترتیب بالاترین R^2 معادل ۰/۹۲۱ و ۰/۹۸۹ و منفی‌ترین شاخص آکائیک (AICc) برابر با ۱۶۷۷/۸- و ۴۷۱/۷- را به خود اختصاص داد.

در پژوهش دیگری تجزیه هیدروتایم برای توصیف واکنش جوانه‌زنی نسبت به تنش آبی ۱۴ اکوتیپ مختلف گیاه سیاهدانه (*Nigella Sativa* L.) نشان داد که کمترین ثابت هیدروتایم (θ_H) به اکوتیپ بجستان برابر ۲۸/۰۴ مگاپاسکال در ساعت اختصاص دارد. همچنین اکوتیپ اصفهان (۰/۵۶۳- مگاپاسکال) کمترین مقدار $\Psi_{b(50)}$ را به خود اختصاص داد. در نتیجه از نظر سرعت جوانه‌زنی و تحمل به خشکی در مرحله جوانه‌زنی اکوتیپ‌های بجستان و اصفهان برترین اکوتیپ‌ها شناسایی شدند (Nezamivand Chegini et al., 2021). حمیدی و همکاران (Hamidi et al., 2022) برای نه ژنوتیپ کینوا در سطوح مختلف خشکی از مدل هیدروتایم بر مبنای توزیع لجستیک استفاده کردند. نتایج این محققان نشان داد که مقادیر R^2 از ۰/۸۳ تا ۰/۹۱ متغیر بود که بیانگر مناسب بودن این توزیع برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد تنش آبی باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و شاخساره، وزن خشک ریشه‌چه و شاخساره در هر دو گونه مریم گلی شد. گونه مریم گلی تا پتانسیل آب ۰/۹- مگاپاسکال قادر به جوانه‌زنی بود؛ در حالی که بذرهای گیاه مریم گلی لوله‌ای در این پتانسیل قادر به جوانه‌زنی نبودند. پس از مقایسه برآزش سه توزیع آماری نرمال، لجستیک و گامبل روی داده‌های جوانه‌زنی مریم گلی، در هر دو گونه گیاهی، توزیع لجستیک بهترین توزیع در کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذور این گیاه به پتانسیل‌های مختلف آب تعیین شد. بنابراین به نظر می‌رسد از این مدل بتوان برای پیش‌بینی درصد جوانه‌زنی این گونه‌های مریم گلی با دقت بالا استفاده نمود. بر اساس شاخص $\Psi_{b(50)}$ و آزمون t مشخص شد گیاه مریم گلی نسبت به مریم گلی لوله‌ای توانایی بیشتری برای تحمل به خشکی در مرحله جوانه‌زنی دارد. در مجموع انتظار می‌رود بتوان از اطلاعات به‌دست‌آمده در این مطالعه برای توسعه

عالی‌مقام و قادری فر (Alimagham and Ghaderi-Far, 2014)، با تجزیه هیدروتایم برای سه گونه گیاهی شاه‌افسر (*Melilotus officinalis*)، گندم (*Triticum aestivum*) و چاودار (*Secale cereael*)، توانستند این سه گیاه را از جنبه‌های مختلف واکنش جوانه‌زنی تحت شرایط تنش آبی مورد مقایسه قرار دهند. مقادیر θ_H (مگاپاسکال بر ساعت) و $\Psi_{b(50)}$ (مگاپاسکال) به‌ترتیب برای شاه‌افسر ۱۲/۲۵ و ۰/۴۷- برای گندم ۶۱/۷ و ۱/۸۵- و همچنین برای چاودار معادل ۶۸/۹۶ و ۱/۸۶- به‌دست آمد. گیاه شاه‌افسر به‌طور قابل‌توجهی θ_H کمتری داشت که نشان‌دهنده سرعت جوانه‌زنی بیشتر آن در مقایسه با دو گیاه دیگر بود. در حالی که چاودار و گندم مقادیر $\Psi_{b(50)}$ پایین‌تری داشتند و نسبت به خشکی متحمل‌تر از شاه‌افسر معرفی شدند.

فرحی‌نیا و همکاران (Farahinia et al., 2017) با بررسی واکنش جوانه‌زنی ۲۰ اکوتیپ زنیان نسبت به تنش آبی، گزارش کردند بین اکوتیپ‌ها از نظر شاخص‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد. میانگین ثابت هیدروتایم (θ_H) برابر ۱۳/۶ مگاپاسکال بر ساعت و میانگین $\Psi_{b(50)}$ برابر با ۰/۲۱- و بین ۰/۱۲- تا ۰/۳۲- مگاپاسکال متغیر بود، این محققان بیان کردند کمترین و بیشترین مقدار θ_H به‌ترتیب برای اکوتیپ مرودشت با ۶/۸ مگاپاسکال ساعت و اکوتیپ اردبیل با ۲۴/۳ مگاپاسکال ساعت برآورد شد که بیانگر سرعت جوانه‌زنی بیشتر اکوتیپ مرودشت بود. در مطالعه طباطبایی و انصاری (Tabatabaei and Ansari, 2017) با استفاده از مدل هیدروتایم، پاسخ جوانه‌زنی در ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) نسبت به کاهش پتانسیل آب بررسی شد. مشاهده شد که جوانه‌زنی ارقام گلرنگ با کاهش پتانسیل اسمزی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. شاخص $\Psi_{b(50)}$ به‌ترتیب برای ارقام سینا ۰/۵۶-، فرامان ۰/۶۷-، طلایی ۰/۶۴- و برای کوسه ۰/۷۷- مگاپاسکال برآورد شد. این نتایج بیانگر تحمل به خشکی بیشتر بذر گلرنگ در رقم کوسه نسبت به سایر ارقام است.

صبوری و همکاران (Sabouri et al., 2020) به‌منظور ارزیابی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی بادرنجبویه در سطوح مختلف تنش آبی از توزیع‌های نرمال، گامبل، ویبول، لجستیک و لوگ‌لجستیک در تجزیه هیدروتایم استفاده کردند. آن‌ها اعلام کردند که توزیع لجستیک

استراتژی‌های مدیریت بهتر برای جوانه‌زنی و پرورش گیاه
دارویی مریم‌گلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بهره‌برد.
نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از دانشگاه ایلام
جهت حمایت‌های آن برای اجرای این پژوهش تشکر نمایند.
همچنین از همکاری معنوی هسته پژوهشی تولید و فرآوری
بذر گیاهان زراعی، باغی و دارویی دانشگاه گیلان قدردانی
نمایند.

تشکر و قدردانی

منابع

- Abdul-Baki, A.A. and Anderson, J.D. 1973. Vigour determination of soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13(6): 630-633. **(Journal)**
- Ahmed, R. B., Aboelkassem, A. A., Ali, S. M., Ismail, E., El-Sherbeny, G. A., and Elsayed, H. M. 2019. Screening the Responsible Impact of Fourteen Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes against Osmotic Water Stress Mediated through PEG6000 in Terms of Seed Germination and Early Seedling Growth Stage in Search of Promising Drought Tolerant Genotypes under in vitro Condition. *Asian Journal of Research in Biosciences*, 1(2): 78-97. **(Journal)**
- Alimagham, S.M. and Ghaderi-Far, F. 2014. Hydrotim model: introduction and application of this model in seed researches. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 7(1): 41-52. (In Persian) **(Journal)**
- Arshad, K., Ullah, A., Ullah, S., Bogari, H.A., Ashour, M.L., Noor, J., Amin, F. and Shah, S. 2022. Quantifying osmotic stress and temperature effects on germination and seedlings growth of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) via hydrothermal time model. *Sustainability*, 14(19): 12049. **(Journal)**
- Bradford, K.J. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50(2), 248-260. **(Journal)**
- Bradford, K.J. and Still, D.W. 2004. Applications of hydrotim analysis in seed testing. *Seed Technology*, 26: 74-85. **(Journal)**
- Burnham, K.P. and Anderson, D.R. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. Springer Verlag. New York, USA. 488 pages. (In Persian) **(Book)**
- Cardoso, V. J. M., and Bianconi, A. 2013. Hydrotim model can describe the response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds to temperature and reduced water potential. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 35(2): 255-261. **(Journal)**
- Ebadi, M., Farzaneh, A., Ebadi, E., and Nemati, S. H. 2012. Evaluation of Some Germination Factors of *Salvia sahendica* Boiss & Buhse in Drought and Salt Stresses Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(4): 764-773. **(Journal)**
- El Hamdaoui, A., Mechqoq, H., El Yaagoubi, M., Bouglad, A., Hallouti, A., El Mousadik, A. and Msanda, F. 2021. Effect of pretreatment, temperature, gibberellin (GA3), salt and water stress on germination of *Lavandula mairei* Humbert. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 24: 100314. **(Journal)**
- Ellis, R. H., Covell, S., Roberts, E. H., and Summerfield, R. J. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes: II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. *Journal of Experimental Botany*, 37(10), 1503-1515. **(Journal)**
- Evans, M., Hastings, N. and Peacock, B. 2000. Statistical Distributions. 3th edition John Wiley and Sons, Inc, New York. 221 pages. (In Persian) **(Book)**
- Fallahi, J., Ebadi, M. T., and Ghorbani, R. 2009. The effects of salinity and drought stresses on germination and seedling growth of clary (*Salvia sclarea*). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 1(1): 57-67. **(Journal)**
- Farahinia, P., Sadat-Noori, S.A., Mortazavian, M.M., Soltani, E. and Foghi, B. 2017. Hydrotim model analysis of *Trachyspermum ammi* (L.) Sprague seed germination. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 5: 88-91. **(Journal)**
- Ganiyu, S. A., Popoola, A. R., Imonmion, J. E., Uzoemeka, I. P., and Ojo, K. O. 2021. Effect of three steriliznf agents on seed viability, seedling viogor and occurrence of seed-borne bacterial pathogens of two tomato cultivars. *Nigerian Journal of Plant Protection*, 35(1): 32-38. **(Journal)**
- Gummerson, R.J. 1986. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. *Journal of Experimental Botany*, 37(6): 729-741. **(Journal)**

- Hamidi, S., Ghaderi-Far, F., Siahmarguee, A., Torabi, B. and Behroj, M. 2022. Hydrottime model: an indicator for assessing drought stress tolerance of different quinoa genotypes at the germination stage. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(2): 459-469. (In Persian)(**Journal**)
- Han, Y., Hou, Z., Zhang, X., Yan, K., Liang, Z. and He, Q. 2022. Important changes in germination, seedling tolerance, and active components content due to drought stress on three licorice (*Glycyrrhiza*) species. *Industrial Crops and Products*, 175: 114240. (**Journal**)
- Hosseini, A., Salehi, A., Moradi, A. and Balouchi, H. 2020. The effects of bio priming on some germination indices of *Pimpinella anisum* L., Faridan accession under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 9(1): 1-13. (In Persian) (**Journal**)
- Hou, M. and Ma, M. 2022. Effect of peg-simulated drought stress on seed germination of three medicinal liquorice (*Glycyrrhiza*) species. *Legume Research-An International Journal*, 45(11): 1388-1393. (**Journal**)
- Jahanbakhsh, S., parmoon, G. and Joudi, Z. 2019. Effect drought and salt stress on germination, establishment and antioicidant enzyme activity different ecotypes chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Plant Process and Function*, 8(30): 353-371. (In Persian)(**Journal**)
- Javaid, M.M., Mahmood, A., Alshaya, D.S., AlKahtani, M.D., Waheed, H., Wasaya, A., Khan, S.A., Naqve, M., Haider, I., Shahid, M.A. and Fiaz, S. 2022. Influence of environmental factors on seed germination and seedling characteristics of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Scientific Reports*, 12(1): 1-11. (**Journal**)
- Karami, M., Hossini, E., Shahbi Majd, N., Ebrahimzadeh, M.A. and Alemy, S. 2015. *Salvia limbata*: botanical, chemical, pharmacological and therapeutic effecte. *Journal of Clinical Excellence*, 3(2): 1-14. (In Persian)(**Journal**)
- Khan, I. H. and A. Javaid. 2020. Anticancer, antimicrobial and antioxidant compounds of quinoa inflorescence. *Advanc. Life Sci.*, 8(1): 68-72. (**Journal**)
- Khan, S., Ullah, A., Ullah, S., Saleem, M.H., Okla, M.K., Al-Hashimi, A., Chen, E. and Ali, S. 2022. Quantifying temperature and osmotic stress impact on seed germination rate and seedling growth of *Eruca sativa* Mill. via hydrothermal time model. *Life*, 12(3): 400. (**Journal**)
- Khidrapure, G., Lakshmana, D., Hanumanthappa, M., Badalingappanavar, R. and Chandana, B.C. 2018. Seed quality enhancement techniques in medicinal and aromatic crops: a review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3S): 59-64. (**Journal**)
- Kiani, S., Parmoon, G., Moosavi, S.A and Siadat, S.A. 2020. Quantification of the seed germination of fennel ecotypes to osmotic stress using different statistical distributions. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 9(3): 99-112. (In Persian) (**Journal**)
- Liu, J., Hasanuzzaman, M., Wen, H., Zhang, J., Peng, T., Sun, H. and Zhao, Q. 2019. High temperature and drought stress cause abscisic acid and reactive oxygen species accumulation and suppress seed germination growth in rice. *Protoplasma*, 256: 1217-1227. (**Journal**)
- Mesgaran, M.B., Mashhadi, H.R., Alizadeh, H., Hunt, J., Young, K.R. and Cousens, R.D. 2013. Importance of distribution function selection for hydrothermal time models of seed germination. *Weed Research*, 53: 89-101. (**Journal**)
- Michel, B.E. and Kaufmann, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 51(5): 914-916. (**Journal**)
- Mirzapour, M., Valizadeh, N., Heydarzadeh, S., Rahimi, A., and Gitari, H. 2022. Factors affecting the production of secondary metabolites in medicinal plants. *New Development on Medicinal and Aromatic Plants-II*; Ozyazici, G., Ed, 3-32. (**Journal**)
- Mosavi, S. M., Bijanzadeh, E., Zinati, Z., and Nazari, L. 2021. Seed germination prediction of osmotic-stressed safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different temperatures using hydrottime analysis. *Iran Agricultural Research*, 40(1): 83-92. (**Journal**)
- Nezamivand Chegini, R., Benakashani, F., Alahdadi, I., and Soltani, E. 2021. Quantification of salinity stress and drought effects on fourteen ecotypes of black caraway (*Nigella sativa* L.) medicinal plant. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(1): 211-220. (In Persian)(**Journal**)
- Omidbeigi, R. 2011. *Production and Processing of Medicinal Plants*. Sixth edition, Astan Quds Razavi Publications, 348 pages. (In Persian)(**Book**)
- Oraee, T., Shour, M., Tehranifar, A. and Nemati, S.H. 2022. Effect of drought stress on seed germination variables and physiological traits of Ornamental Hollyhock (*Alcea rosea* L.). *Journal of Horticultural Science*, 35(4): 479-492. (In Persian)(**Journal**)

- Ouahzizi, B., Elbouny, H., Sellam, K., Alem, C. and Bakali, A.H. 2023. Effects of temperature, provenance, drought stress and salinity on seed germination response and early seedling stage of *Thymus atlanticus* (Ball) Roussine. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 34: 100482. **(Journal)**
- Palizdar, M., Tavakkol Afshari, R., Jamzad, Z., Ardakani, M. and Nejat Khah, P. 2021. Evaluation of the effects of seed treatment with GA3 and pre-chilling on seed germination characteristics of *Salvia* species. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 9(4): 27-40. (In Persian) **(Journal)**
- Poudel, R., Finnie, S. and Rose, D.J. 2019. Effects of wheat kernel germination time and drying temperature on compositional and end-use properties of the resulting whole wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 86: 33-40. **(Journal)**
- Poulios, E., Giaginis, C. and Vasios, G.K. 2020. Current state of the art on the antioxidant activity of sage (*Salvia* spp.) and its bioactive components. *Planta Medica*, 86(04): 224-238. **(Journal)**
- Rifna, E. J., Ramanan, K. R., and Mahendran, R. 2019. Emerging technology applications for improving seed germination. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 95-108. **(Journal)**
- Sabokdast, M., Salehi, F. and Rezaizadeh, A. 2018. Effect of drought-induced stress by PEG6000 on physiological and morphological traits of Lentil (*Lens culinaris*) seed germination in order to selection of drought tolerant genotypes . *Iranian Journal of Field Crop Science*, 49(3): 39-47. (In Persian)**(Journal)**
- Sabouri, A. and Alavi, Z. 2019. Investigating the response of the germination speed of the Satureja plant to osmotic stress with the hydrotime model, 11th Congress of Iranian Horticultural Science, Urmia
- Sabouri, A., Azizi, H. and Nonavar, M. 2020. Hydrotime model analysis of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) using different distribution functions. *South African Journal of Botany*, 135: 158-163. **(Journal)**
- Saima, S., Li, G., and Wu, G. 2018. Effects of drought stress on hybrids of *Vigna radiata* at germination stage. *Acta Biologica Hungarica*, 69: 481- 492. **(Journal)**
- Sanekhoori, F.H., Pirdashti, H. and Bakhshandeh, E. 2021. Quantifying water stress and temperature effects on camelina (*Camelina sativa* L.) seed germination. *Environmental and Experimental Botany*, 186: 104450. **(Journal)**
- Saux, M., Ponnaiah, M., Langlade, N., Zanchetta, C., Balliau, T., El-Maarouf-Bouteau, H. and Bailly, C. 2020. A multiscale approach reveals regulatory players of water stress responses in seeds during germination. *Plant, Cell and Environment*, 43(5): 1300-1313. **(Journal)**
- Seleiman, M.F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H.H. and Battaglia, M.L. 2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2): 259. **(Journal)**
- Shah, S., Khan, Y., and Yan, H. 2022. The phytochemical, pharmacological and medicinal evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 28(2), 138. **(Journal)**
- Shahrajabian, M.H., Khoshkharam, M., Zandi, P., Sun, W. and Cheng, Q. 2020. The influence of temperatures on germination and seedling growth of pyrethrum (*Tanacetum cinerariifolium*) under drought stress. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 8(1): 29-39. **(Journal)**
- Soltani, E. and Farzaneh, S. 2014. Hydrotime analysis for determination of seed vigour in cotton. *Seed Science and Technology*, 42(2): 260-273. **(Journal)**
- Tabatabaei, S.A. and Ansari, O. 2017. Predicting seed germination of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars using hydrotime model. *Cercetari Agronomice in Moldova*, 1(169): 79-87. **(Journal)**
- Wijewardana, C., Reddy, K. R., Krutz, L. J., Gao, W., and Bellaloui, N. 2019. Drought stress has transgenerational effects on soybean seed germination and seedling vigor. *PloS One*, 14(9): e0214977. **(Journal)**
- Willenborg, C.J., Wildeman, J.C., Miller, A.K., Rossnagel, B.G. and Shirliffe, S.J. 2005. Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes, and osmotic potentials. *Crop Science*, 45(5): 2023-2029. **(Journal)**
- Yaman, C., Khalid, P.S. and Bakhsh, A. 2022. Dormancy and germination of *Salvia* species: an overview. *New Development on Medicinal and Aromatic Plants-ii*, 321. **(Journal)**

- Yazdani Biouki, R., Bannayan Aval, M., Khazaie, H.R. and Sodaeeizadeh, H. 2014. Investigating some quantitative and qualitative characteristics of marjoram (*Origanum vulgare* virid.) as affected by different levels of Azocompost and urea. Journal of Agroecology, 6(4): 798-811. (In Persian) **(Journal)**
- Yousefi, A.R., Rashidi, S., Moradi, P. and Mastinu, A. 2020. Germination and seedling growth responses of *Zygophyllum fabago*, *Salsola kali* L. and *Atriplex canescens* to PEG-induced drought stress. Environments, 7(12): 107. **(Journal)**
- Zamani, Z., Amiri, H. and Ismaeili, A. 2018. Effect of drought stress on germination characteristics of two populations of Fenugreek (*Trigonella foenum* subsp. *graceum* L.). Nova Biologica Reperta, 5(2): 191-183. (In Persian)**(Journal)**
- Ziaei, S.M. and Jafari, M. 2022. Effect of different osmotic potential and seed priming levels on some germination characteristics of Paneer phool (*Withania coagulans*). Plant Production and Genetics, 3(2): 235-246. (In Persian)**(Journal)**



Investigating the germination response of two *Salvia* species to water stress using the hydrotime model

Zahra Rezaei¹, Zeynab Roein², Atefeh Sabouri^{3*}, Somayeh Hajinia⁴

Received: May 12, 2024

Accepted: July 29, 2024

Abstract

Salvia is one of the important medicinal plants and identifying the optimal conditions for its proper growth under environmental stress can play an important role in reducing its production cost and productivity. In this regard, this research was carried out to evaluate the effects of water stress on germination components and to quantify the effect of stress on germination responses of *Salvia* at Ilam University in 2023. The experimental factors included water stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000 at six levels (zero, -0.1, -0.3, -0.5, -0.7, and -0.9 MPa) and two types of *Salvia* (included *Salvia macrosiphon* and *Salvia officinalis*). Based on the results, the mean of percentage of germination in different of stress levels in *S. officinalis* (38.2%), was more than to *S. macrosiphon* (20.8%). By increasing water stress to -0.3 MPa, the seed germination percentage of both *Salvia* species decreased by more than 50%. Based on the hydrotime analysis out of five probability distributions, three functions Normal, Logistic and Gumbel were convergence and according to the Corrected Akaike Information Criterion (AICc), adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}), and root mean square error (RMSE) in both *Salvia* species it was found that Logistic distribution is the best model in justifying their germination. The estimation of the parameters of hydrotime models showed that the *S. macrosiphon* species has a lower hydrotime constant (θ_H) compared to the *S. officinalis*, which indicates a higher germination speed in *S. macrosiphon*. The value of basic water potential for 50% germination ($\psi_b(50)$) in *S. officinalis* (-0.611) was lower than its value in *S. macrosiphon* (-0.359), which indicates greater tolerance of *S. officinalis* against water stress in the germination stage compared to *S. macrosiphon*.

Keywords: Germination models; Medicinal plant; Water potential

How to cite this article

Rezaei, Z., Roein, Z., Sabouri, A. and Hajinia, S. 2024. Investigating the germination response of two *Salvia* species to water stress using the hydrotime model. Iranian Journal of Seed Science and Research, 11(2): 29-46. (In Persian)(Journal)
DOI: 10.22124/JMS.2024.8668

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit <http://jms.guilan.ac.ir/>

1. Graduated M.Sc., Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. rezaei.zahra65@yahoo.com
2. Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. z.roein@ilam.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. a.sabouri@guilan.ac.ir
4. Visiting Teacher, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. hajinia.2010@gmail.com

*Corresponding author: a.sabouri@guilan.ac.ir